Caratteristiche per l'applicazione pratica: Avviamento del motore

Premessa

Il presente manuale tecnico «Avviamento del motore» rappresenta un'ulteriore pubblicazione sul tema «Sistema di controllo e protezione del motore (Motor Management)».

Con questa pubblicazione si rende disponibile per l'utente un manuale sempre più vasto per la consultazione sulle prestazioni e sui dati operativi per la progettazione e l'utilizzo. Gli argomenti trattati sono:

- Protezione del motore e della macchina
- Scelta e uso delle apparecchiature elettriche di comando
- Comunicazione

Sono già stati pubblicati i seguenti manuali tecnici:

- «Motori asincroni trifasi», informazioni sulla costruzione, tipi di funzionamento, scelta e dimensionamento dei motori
- «Caratteristiche degli interruttori magnetotermici di potenza», indicazioni integrative per la gestione pratica degli interruttori magnetotermici di potenza.

Attualmente i motori elettrici fanno parte di tutti i processi di produzione. L'utilizzo ottimale delle macchine aumenta di significato sotto il profilo economico. Il «Sistema di controllo e protezione del motore» della Rockwell Automation può essere di aiuto:

- nell'utilizzare meglio gli impianti
- nel ridurre i costi di gestione
- nell'aumentare la sicurezza di funzionamento

Saremo lieti se le nostre pubblicazioni potranno aiutarvi a trovare soluzioni economiche ed efficienti per le vostre applicazioni.

Indice

Avviamento dei motori elettrici

I motori a gabbia di scoiattolo, grazie alla loro semplicità, robustezza e convenienza economica, sono i motori industriali maggiormente usati. Sviluppano, in fase d'avviamento diretto, correnti di spunto fino a 8 volte il valore della corrente nominale e, in questo modo, si ottengono coppie di avviamento molto elevate.
Le correnti di spunto elevate causano spesso, abbassamenti di corrente sulla linea di distribuzione e di conseguenza provocano fastidiose interruzioni sulle utenze in rete, inoltre la coppia d'avviamento elevata provoca sollecitazioni meccaniche su tutti gli elementi della macchina. Per questo motivo, le società fornitrici di energia elettrica stabiliscono valori limite per le correnti di spunto dei motori in rapporto alla corrente nominale di funzionamento. I valori ammessi variano a secondo della rete di distribuzione, e in funzione della potenza installata. Con particolare attenzione alla meccanica, sono auspicabili metodi in grado di ridurre la coppia d'avviamento.
Allo scopo di ridurre la corrente e la coppia, possono essere usati diversi metodi di avviamento:

- Avviamento stella-triangolo
- Avviamento con autotrasformatore
- Avviamento statorico con resistenze
- Avviamento per motori a doppia polarità
- Avviamento con elettronica di potenza
- Avviamento tramite convertitori di frequenza

In seguito saranno discussi ulteriormente i principali metodi d'avviamento usati nella pratica.

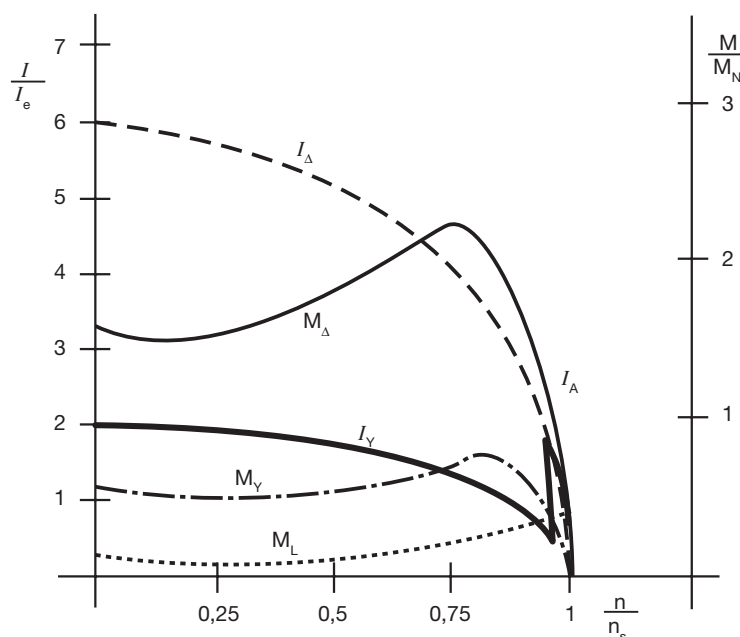
1 Avviamento motore tradizionale

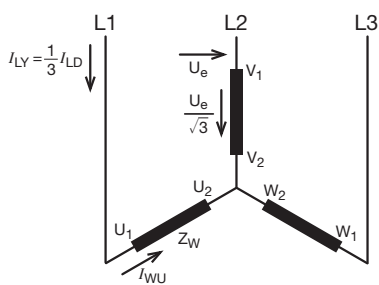
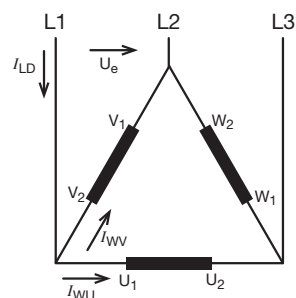
1.1 Avviamento stella-triangolo

Si distinguono:

- Avviamento stella-triangolo normale
- Avviamento stella-triangolo rinforzato
- Avviamento stella-triangolo con commutazione senza interruzione (transizione chiusa)

1.1.1 Avviamento stella-triangolo normale

All'avviamento, gli avvolgimenti del motore sono collegati alla rete d'alimentazione a stella, quindi risultano essere in serie alla linea d'alimentazione. La tensione applicata si riduce, di conseguenza, del fattore $1/\sqrt{3}$=0,58 corrispondente alla tensione stellata. La coppia d'avviamento, è di circa il 30% del valore di collegamento a triangolo. La corrente di spunto viene ridotta di un terzo rispetto alla corrente di spunto dell'avviamento diretto, vale a dire da 2...2,5 I_e.
A causa della coppia ridotta allo spunto, il collegamento stella-triangolo è adatto per macchine con grande massa d'inerzia, ma con una coppia resistente bassa o che aumenta solo con l'aumento della velocità. E' preferibilmente usato per applicazioni dove il motore viene caricato solo dopo l'aumento di velocità. Esempi di applicazione sono presse, centrifughe, pompe, ventilatori ecc.

Curve caratteristiche della corrente e della coppia nell’avviamento stella-triangolo

I	Corrente del motore	n	Velocità nominale
I_e	Corrente nominale del motore	n_s	Velocità sincrona
M_D	Coppia del motore con collegamento a triangolo	M_L	Coppia resistente
		I_Y	Corrente con collegamento a stella
M_E	Coppia del motore con funzionamento nominale	I_D	Corrente con collegamento a triangolo
		I_A	Andamento della corrente nell’avviamento stella-triangolo

Collegamento a stella

Collegamento a triangolo

Il comportamento della corrente nel collegamento stella-triangolo.

I_{LY} Corrente d’alimentazione nel collegamento a stella

I_{LD} Corrente d’alimentazione nel collegamento a triangolo

I_W Corrente nell’avvolgimento

U_e Tensione di rete concatenata

Z_W Impedenza dell’avvolgimento

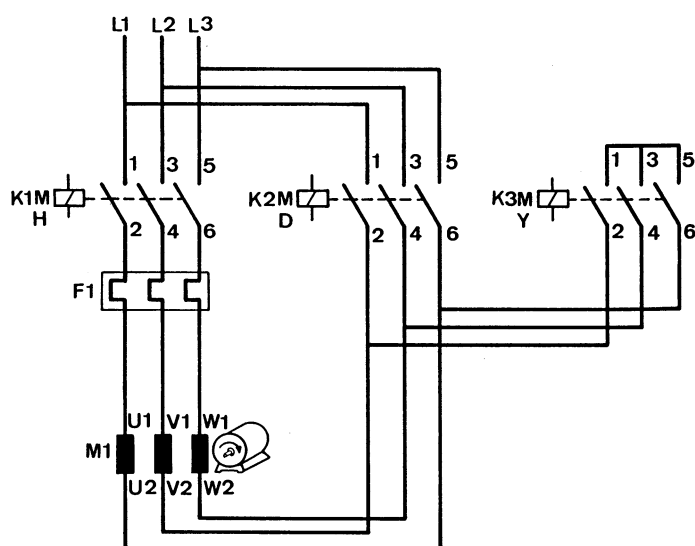
$$I_{LY} = I_{WU} = \frac{U_e}{\sqrt{3}\, Z_W}$$

$$\vec{I}_{L1D} = \vec{I}_{WU} + \vec{I}_{WV}$$

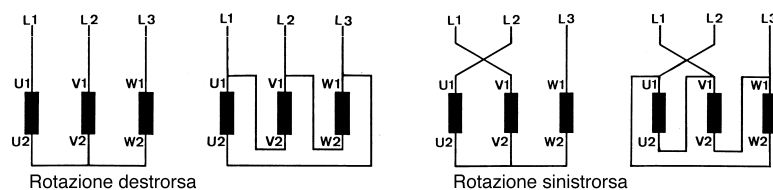
$$I_{LD} = I_W \sqrt{3} = \frac{U_e}{Z_W}\sqrt{3} = 3\, I_{LY}$$

$$I_{LY} = \frac{1}{3}\, I_{LD}$$

Dopo che il motore ha raggiunto la velocità, di solito un temporizzatore commuta il passaggio dal collegamento a stella a quello a triangolo. L'avviamento nel collegamento a stella deve durare fino a quando il motore raggiunge, approssimativamente, il numero di giri nominali in modo che nella commutazione a triangolo la corrente subisca il minor picco possibile. La post-accelerazione nel collegamento a triangolo è legata, come nell'avviamento diretto, a correnti di picco molto elevate. La durata temporanea nell'avviamento con collegamento a stella dipende dal carico del motore. Nel collegamento a triangolo l'intera tensione di rete è applicata agli avvolgimenti del motore.

Nei motori con avviamento stella-triangolo, le 6 estremità degli avvolgimenti vengono portati sulla morsettiera del motore. I contattori per l'avviamento stella-triangolo commutano gli avvolgimenti in maniera conforme.

Avviamento stella-triangolo per mezzo di contattori.

Con l'avviamento a stella, il contattore principale chiude la rete alle estremità degli avvolgimenti U1, V1, W1. Le estremità degli avvolgimenti U2, V2, W2 vengono chiusi a stella dal relativo contattore. La commutazione a triangolo avviene ad una velocità vicina alla velocità di regime, il contattore di stella si disinserisce ed il contattore di triangolo collega i morsetti U1/V2, V1/W2, W1/U2.

Nell'avviamento stella-triangolo, bisogna prestare attenzione alla corretta sequenza delle fasi, in pratica è necessario che sia rispettato il corretto collegamento dei conduttori al motore e all'avviatore. In caso di una sequenza di fase sbagliata può verificarsi un picco di corrente molto elevato a causa della lieve diminuzione della velocità durante l'intervallo della commutazione dalla stella al triangolo. Questi picchi di corrente molto alti possono danneggiare gli avvolgimenti del motore e sollecitare inutilmente le apparecchiature elettriche. Allo stesso tempo, è necessario prestare attenzione al senso di rotazione del motore.

Collegamento corretto del motore

Tra l’apertura del contattore di stella e la chiusura del contattore di triangolo, deve esistere una pausa sufficiente perché si estingua l’arco voltaico nel contattore di stella prima che si chiuda il contattore di triangolo. In caso di commutazione troppo rapida, si può verificare un cto.cto. sull’arco voltaico di spegnimento. Tuttavia, la pausa di commutazione deve essere abbastanza lunga per l’estinzione dell’arco, in modo che il numero di giri diminuisca il meno possibile. A tal scopo esistono speciali temporizzatori per la commutazione dell’avviamento stella-triangolo.

Protezione del motore e dimensionamento dei contattori
Il relè per la protezione del motore viene collegato sulla sezione dell’avvolgimento a valle del contattore principale. Quindi, la corrente da regolare, corrisponde al fattore $1/\sqrt{3}=0,58$ rispetto alla corrente nominale del motore. A causa della terza armonica le correnti in circolazione negli avvolgimenti del motore, possono richiedere una regolazione più alta del relè per la protezione del motore. Questo può avvenire solo sulla base di un controllo con uno strumento in grado di misurare l’esatto valore efficace. Le sezioni trasversali dei conduttori verso il motore e la linea d’alimentazione devono essere dimensionate secondo la corrente di regolazione del relè per la protezione del motore.

Per la protezione del motore con interruttori magnetotermici di potenza con caratteristiche per la protezione del motore, l’interruttore magnetotermico di potenza viene collegato sulla linea d’alimentazione, in modo che assuma anche la protezione di corto circuito dell’avviatore e della linea. In questo caso, la regolazione della corrente avviene sulla corrente nominale del motore. Una correzione del valore di regolazione a causa della terza armonica è irrilevante in queste condizioni. La linea deve essere dimensionata sulla corrente termica, secondo la regolazione dell’interruttore magnetotermico di potenza.

I componenti elettrici per l’avviamento stella-triangolo normale devono essere dimensionati secondo le seguenti correnti:

- Contattore principale K1M $0,58\ I_e$
- Contattore di triangolo K2M $0,58\ I_e$
- Contattore di stella K3M $0,34\ I_e$

Per i tempi d’avviamento più lunghi di circa 15 secondi, il contattore a stella deve essere più grande. Se il contattore a stella è uguale a quello principale, sono ammessi tempi d’avviamento fino a 1 minuto circa.

1.1.2 Avviamento stella-triangolo rafforzato

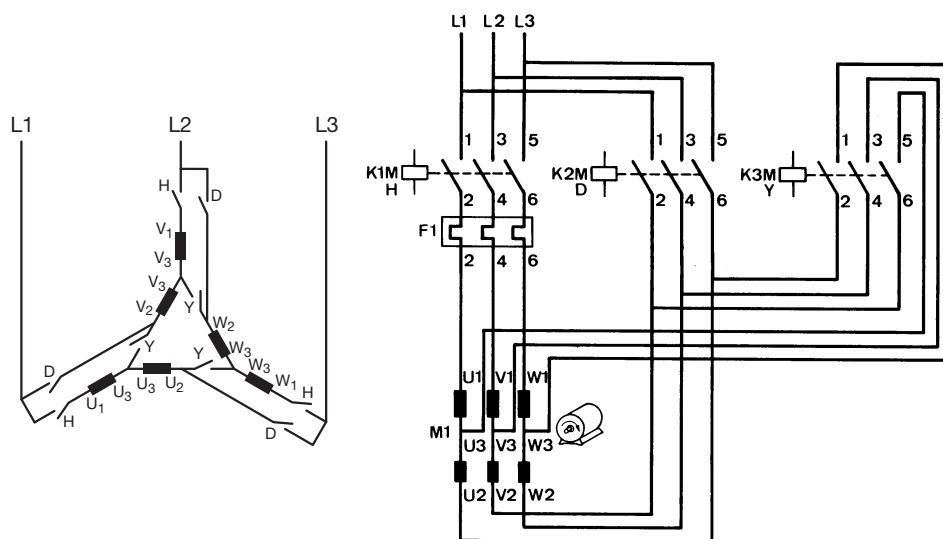
Quando nell'avviamento stella-triangolo la commutazione da stella a triangolo si effettua ad una velocità troppo bassa del motore e perché la coppia resistente è superiore alla coppia motore disponibile. L'aumento di quest'ultima può essere realizzato grazie ad un avviamento stella-triangolo rinforzato. Questo miglioramento della coppia motore è purtroppo accompagnato da una corrente d'avviamento molto elevata.
Si fa la seguente distinzione:

- Avviamento stella-triangolo misto
- Avviamento stella-triangolo ad avvolgimento parziale

Per entrambi i tipi sono necessari motori con corrispondenti avvolgimenti in derivazioni.

Con l'avviamento stella-triangolo del motore, il dimensionamento dei contattori, della protezione motore e della sezione dei conduttori valgono le stesse regole vigenti per l'avviamento stella-triangolo normale.

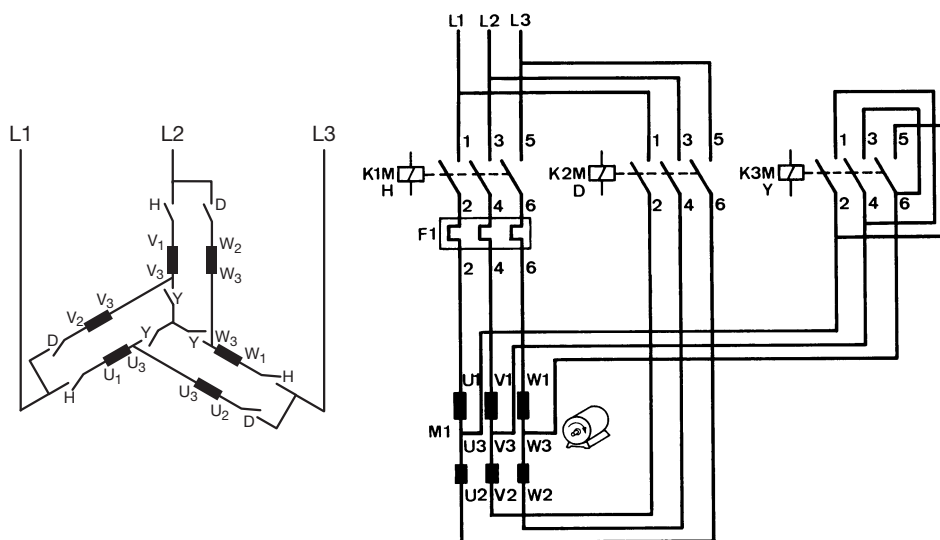
1.1.2.1 Avviamento stella-triangolo misto

In questo caso, gli avvolgimenti del motore sono per lo più divisi in due parti uguali, di cui una è collegata a triangolo e l'altra, collocata a monte, a stella al momento dell'avviamento, da qui la definizione "misto". Poiché la corrente di inserzione a stella è di circa 2...4 I_e la coppia di avviamento subisce un corrispondente aumento non trascurabile.

Avviamento stella-triangolo misto

Dimensionamento dei componenti elettrici:

- Contattore principale K1M 0,58 I_e
- Contattore di triangolo K2M 0,58 I_e
- Contattore di stella K3M 0,34 I_e

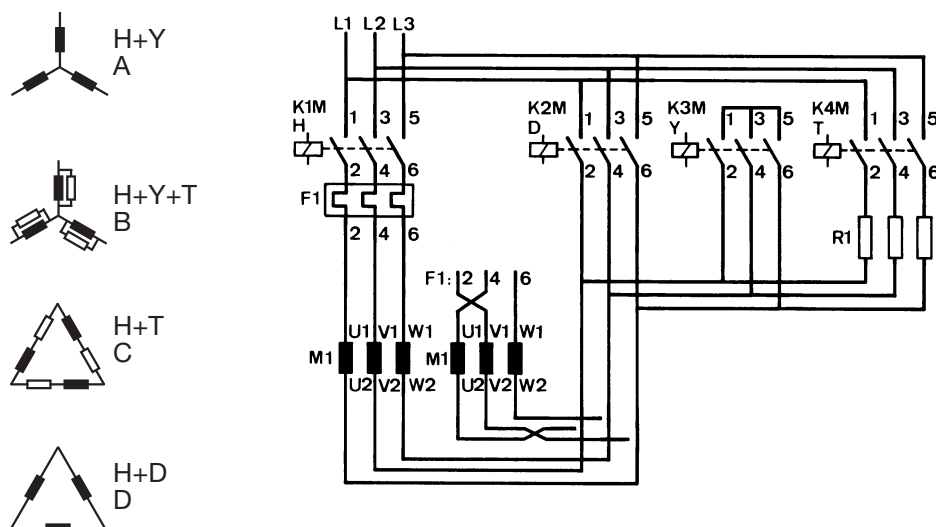
1.1.2.2 Avviamento stella-triangolo con avvolgimento parziale

Anche in questo caso gli avvolgimenti del motore sono divisi. Nel collegamento a stella viene utilizzato solo l’avvolgimento principale, ovvero una parte dell’intero avvolgimento. Da qui la definizione “ad avvolgimento parziale”. La corrente di inserzione a stella è, a seconda della presa di derivazione, 2...4 I_e; ne deriva anche qui una maggiore coppia d’avviamento.

Avviamento stella-triangolo ad avvolgimento parziale

Dimensionamento dei componenti elettrici:

• Contattore principale	K1M	0,58 I_e
• Contattore di triangolo	K2M	0,58 I_e
• Contattore di stella	K3M	0,5 - 0,58 I_e (secondo la corrente di avviamento)

1.1.3 Avviamento stella-triangolo senza interruzione

Con questo metodo si evita la diminuzione della velocità del motore durante la commutazione dalla stella al triangolo e di mantenere la punta di corrente ad un valore relativamente basso.
Questo sistema è caratterizzato da un quarto contattore detto di transizione K4M che si chiude prima dell’apertura del contattore di stella. Il suo ruolo è di collegare il circuito del motore a triangolo tramite resistenze per ottenere l’interruzione della corrente durante la commutazione vera e propria. La velocità del motore resta dunque praticamente costante. Lo stato definitivo del collegamento viene stabilito dal contattore di triangolo K2M che interrompe l’alimentazione del contattore K4M.

Avviamento stella-triangolo senza interruzione

Dimensionamento dei componenti elettrici:

- Contattore principale K1M $0{,}58\ I_e$
- Contattore di triangolo K2M $0{,}58\ I_e$
- Contattore di stella K3M $0{,}58\ I_e$
- Contattore di transizione K4M typ. $0{,}27\ I_e$ (secondo la corrente di transizione)
- Resistenze di transizione typ. 0,35 à 0,4 U_e/I_e

A differenza di come avviene nel normale collegamento stella-triangolo, il contattore di stella deve essere dimensionato in modo uguale al contattore principale e al contattore di triangolo, in quanto deve interrompere sia la corrente di stella del motore, sia la corrente delle resistenze di transizione. Nelle resistenze circola una corrente di circa 1,5 I_e. Per questo motivo, è necessario un potere di rottura più elevato.

Per l’avviamento stella-triangolo continuo il dimensionamento della protezione motore e la sezione dei conduttori (comando diversificato a seconda del controllo del contattore di transizione), va fatta con le stesse regole vigenti per l’avviamento stella-triangolo normale.

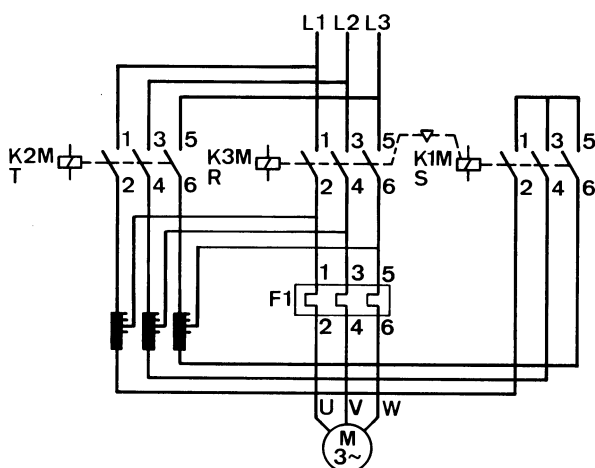
1.2 Avviamento con autotrasformatore

Un avviatore con autotrasformatore permette l'avviamento di motori a gabbia di scoiattolo riducendo la corrente, riduzione causata da una diminuzione della tensione durante la fase d'avviamento. Contrariamente all'avviamento stella-triangolo, sono necessari solo tre conduttori che alimentano il motore. Questo metodo d'avviamento è particolarmente usato nei paesi di lingua inglese.

All'avviamento, il motore è alimentato dall'autotrasformatore. In queste condizioni l'avviamento del motore avviene con tensione ridotta e, di conseguenza, con minor corrente. L'autotrasformatore riduce l'assorbimento di corrente dalla linea principale in proporzione al suo rapporto di trasformazione. Come per l'avviamento stella-triangolo, l'avviatore con autotrasformatore dispone di un rapporto favorevole tra la coppia e l'assorbimento di corrente.

Per adattare la caratteristica della coppia all'avviamento del motore, gli autotrasformatori hanno di solito tre uscite di tensione selezionabili (ad es. 80%, 65%, 50%).

Nel momento in cui il motore sta per raggiungere la coppia nominale, il collegamento a stella sull'autotrasformatore viene aperto. Da questo momento la parzializzazione degli avvolgimenti dell'autotrasformatore funzionano da induttanze in serie sugli avvolgimenti del motore e per questo motivo il numero di giri del motore, come nell'avviamento stella-triangolo continuo, non diminuisce durante la commutazione. Con la chiusura del contattore principale, gli avvolgimenti del motore vengono collegati direttamente alla tensione di linea. La chiusura del contattore principale infine, provoca l'apertura del contattore dell'autotrasformatore.

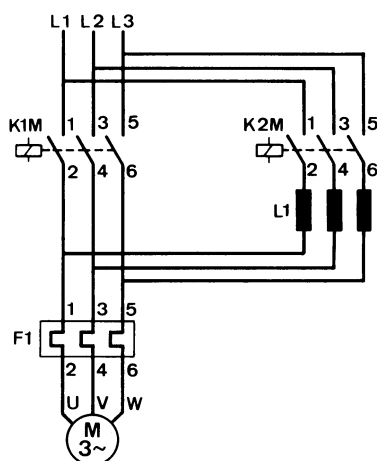
La corrente d'avviamento del motore che è proporzionale al rapporto di trasformazione dell'autotrasformatore dipende dalla tensione d'uscita che si è utilizzata, è può essere circa da 1 – 5 x I_e. La coppia disponibile si riduce in proporzione alla corrente d'avviamento.

Avviatore con autotrasformatore con commutazione senza interruzione. (Collegamento Korndörf)

1.3 Avviamento statorico con induttanze e resistenze

La tensione d'alimentazione del motore viene ridotta attraverso induttanze e resistenze addizionali, che servono a ridurre anche la corrente d'avviamento. La coppia d'avviamento si riduce col quadrato della corrente ridotta.

1.3.1. Avviamento statorico con induttanze

Un motore quando è fermo ha un'impedenza bassa. Una grossa percentuale della tensione di linea è ridotta dalle induttanze addizionali. La coppia di avviamento del motore è dunque fortemente ridotta. Aumentando la velocità del motore, aumenta anche la tensione del motore, tale aumento è dovuto ad una riduzione della corrente assorbita e dalla separazione vettoriale esistente fra la tensione del motore e la reattanza addizionale. In questo modo, aumenta anche la coppia del motore. Raggiunta la velocità di regime, le induttanze vengono escluse.

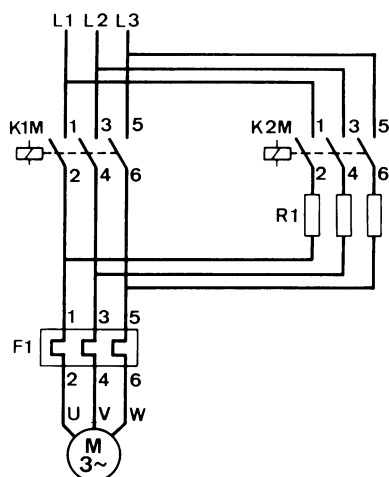
La corrente d'avviamento si riduce a secondo della coppia d'avviamento necessaria.

Avviamento statorico con induttanze

1.3.2. Avviamento statorico con resistenze

In questo caso vengono installate resistenze economicamente più convenienti al posto delle induttanze sopra descritte.

Con questo metodo, la riduzione possibile della corrente d'avviamento è poco rilevabile perché la coppia del motore diminuisce proporzionalmente al quadrato della tensione. La tensione del motore non aumenta proporzionalmente alla velocità e riduce la corrente assorbita.

Ancor meglio sarebbe ridurre progressivamente la resistenza addizionale durante l'avviamento per permettere la riduzione della tensione sulla resistenza ed aumentarla ai morsetti del motore.

Un'altra possibilità sono le resistenze (elettrolitiche) incapsulate; con esse, la resistenza ohmica diminuisce con l'aumento della temperatura dovuto all'effetto del calore generato dalla corrente d'avviamento.

Avviamento statorico con resistenze

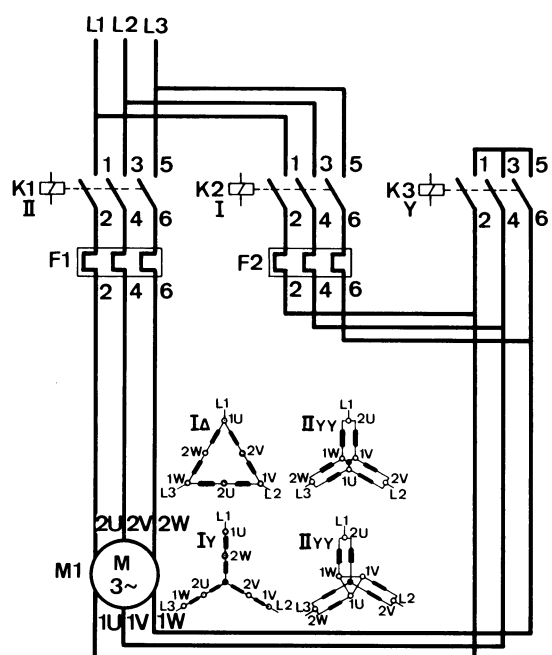
1.4 Motori a doppia polarità

Nei motori asincroni, la velocità è determinata dal numero dei poli.

2 poli	=	3000 g/min	(velocità sincrona)
4 poli	=	1500 g/min	
6 poli	=	1000 g/min	
8 poli	=	750 g/min	
ecc.			

Motori con due o più velocità possono essere costruiti grazie alla realizzazione e ad una commutazione adeguata di avvolgimenti separati realizzati all'interno dello stesso motore. Particolarmente conveniente è il collegamento Dahlander, che permette di ottenere due velocità in un rapporto 1:2 con un solo avvolgimento.

I motori a doppia polarità possono essere utilizzati in qualunque campo d'applicazione, in tutte le condizioni normali di funzionamento e utilizzando la doppia velocità, possono essere applicati, per esempio, per comandare dei ventilatori e modificarne la velocità. Questo è il principale campo d'applicazione.

A seconda della struttura e del collegamento degli avvolgimenti, vi sono motori che offrono le stesse prestazioni e la stessa coppia alle diverse velocità. Per velocità inferiori, la stessa coppia produce correnti minori, il che rende più gestibili gli avviamenti con un più alto rendimento della coppia e con corrente assorbita inferiore.

Motore a doppia polarità

2 Avviatori statici

2.1 Considerazioni generali

Durante l'avviamento di un motore a causa dello spunto si verificano grossi assorbimenti di corrente, che in funzione della potenza installata, possono causare cadute di tensione sull'intera rete d'alimentazione creando problemi ad altre utenze collegate sulla stessa distribuzione come:

- Variazione dell'intensità luminosa degli apparecchi d'illuminazione
- Interferenze con i sistemi computerizzati
- Contattori e relè che si diseccitano

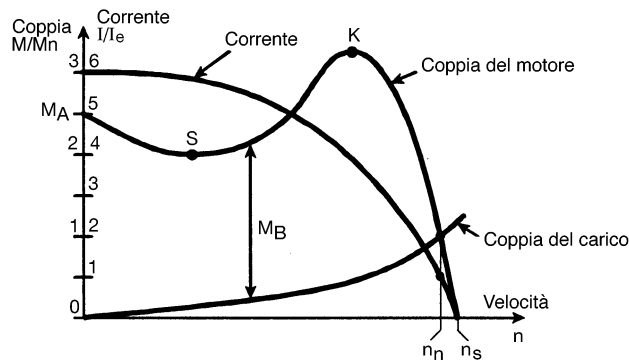
In fase d'avviamento le parti meccaniche di una macchina o di un impianto vengono fortemente sollecitate da improvvisi aumenti della coppia.

Le soluzioni tradizionali sono:

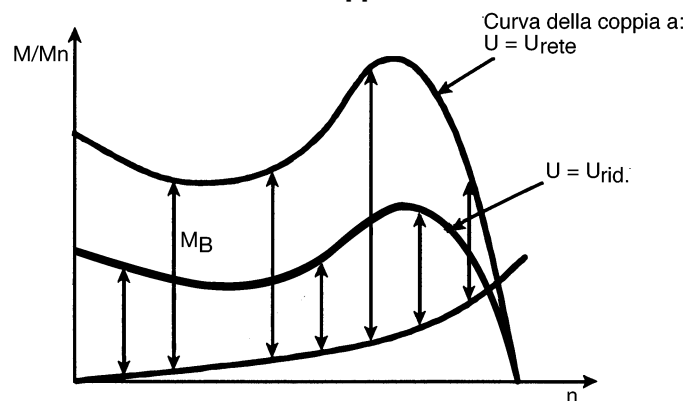
- Avviamento stella-triangolo
- Avviamento con autotrasformatore
- Avviamento statorico con induttanze o resistenze

con queste soluzioni la tensione e, quindi, la corrente ai morsetti del motore può essere applicata solo gradualmente.

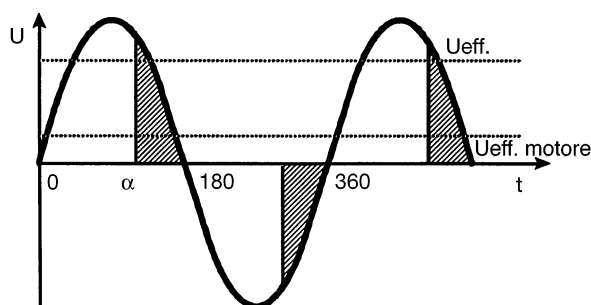
L'avviatore statico controlla la tensione, in modo continuo, parzializzandola dalla fase iniziale fino al cento per cento. In questo modo, la coppia e la corrente aumentano entrambe in modo continuo. L'avviatore statico permette, dunque, un avviamento graduale del motore sotto carico, a partire dallo stato di fermo.

2.2 Realizzazione dell'avviatore di potenza

Curve caratteristiche del motore

Con l'aiuto delle curve caratteristiche della coppia del motore, è possibile spiegare come si può ottenere un avviamento lento del motore.
Se si confronta la curva caratteristica del carico con la curva caratteristica del motore, si può vedere che la curva della coppia del motore si trova sempre al di sopra della curva della coppia di carico fino a quando entrambi non si incontrano.
In questo punto di lavoro si raggiunge la coppia nominale col carico nominale.
La differenza tra la curva della coppia del carico e la curva della coppia del motore è la cosiddetta coppia d'accelerazione (M_B). Questa coppia genera l'energia necessaria per far girare il motore e raggiungere la velocità di regime.
Il rapporto tra queste due curve controlla l'avviamento del motore ed il tempo d'accelerazione. Se la coppia del motore è superiore alla coppia del carico, in questo modo l'energia d'accelerazione è alta e ne risulta un corrispondente tempo d'accelerazione breve. Se la coppia del motore è di poco superiore alla coppia di carico richiesta, ne risulta un'energia di accelerazione bassa e, quindi, aumenta il corrispondente tempo d'accelerazione.
Questo avviamento di potenza è realizzato riducendo la coppia d'accelerazione.

2.2.1 Riduzione della coppia del motore

Curve della coppia

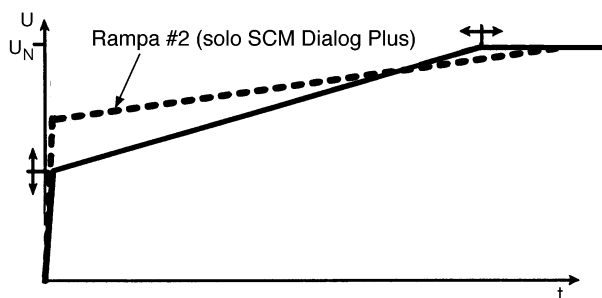
Le curve del motore rappresentate valgono solo se è disponibile la tensione nominale U_N. Nel momento in cui si presenta una tensione minore, la coppia si riduce della metà. Se l'effettiva tensione del motore si riduce del 50%, la coppia si ridurrà di un quarto. Se si confrontano le curve della coppia, si vedrà che la differenza tra la curva del carico e la curva della coppia è superiore sia a tensione nominale che a tensione ridotta. La coppia del motore e, quindi, la potenza d'accelerazione possono essere modificate in funzione della tensione del motore.

2.2.2 Modifica della tensione del motore

Ritardo di fase

E' possibile cambiare la tensione del motore con il controllo del ritardo di fase.
Con l'uso di un semiconduttore controllabile (il tiristore) è possibile passare soltanto una certa percentuale della tensione al motore ritardando una mezza semionda sinusoidale. L'istante a partire dal quale il tiristore trasmette la semionda sinusoidale si chiama angolo d'accensione «alfa». Se l'angolo «alfa» è grande, la tensione efficace del motore è bassa. Se l'angolo di accensione «alfa» viene spostato progressivamente verso sinistra, la tensione efficace del motore aumenta. Con la regolazione corrispondente, il ritardo di fase è un metodo semplice ed efficace per modificare la tensione del motore.

2.3 Metodi d'avviamento

Generalmente esistono due possibilità per avviare un motore con un avviatore statico questi sono:
avviamento con controllo della rampa di tensione
avviamento con limitazione di corrente

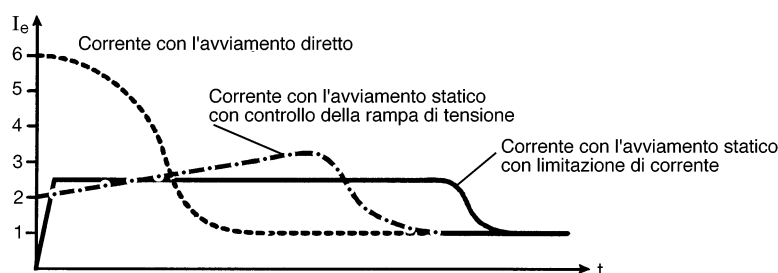
2.3.1 Avviamento con controllo della rampa di tensione

Controllo della rampa di tensione

Nell'avviamento con controllo della rampa di tensione, vengono regolati il tempo d'accelerazione e la percentuale della coppia di pieno carico.
L'avviatore statico aumenta la tensione ai morsetti del motore linearmente da un valore iniziale prestabilito (tensione iniziale) fino alla tensione nominale di rete. La tensione minima del motore all'inizio del processo d'avviamento ha come conseguenza una coppia del motore bassa in questo modo si ha un processo d'accelerazione morbido. Il valore iniziale della tensione prestabilito è determinato dalla percentuale della coppia di pieno carico = coppia di avviamento del motore. Con l'SMC Dialog Plus, esiste la possibilità di scegliere tra due profili di rampa di tensione con tempi d'accelerazione e percentuali della coppia di pieno carico regolabili separatamente.

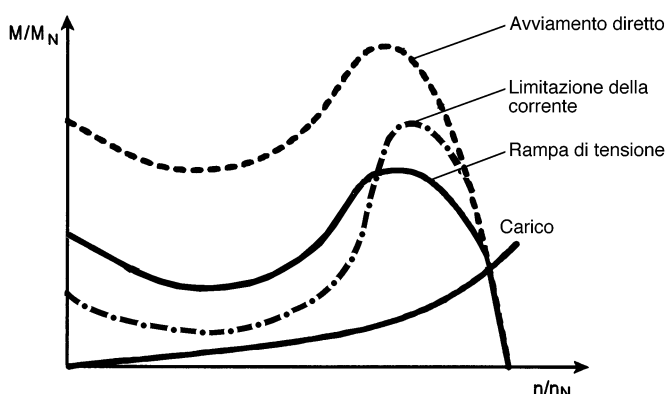
Il tempo d'accelerazione del motore risulta dalla regolazione dello stesso e dalla percentuale della coppia di pieno carico. Se si sceglie una percentuale della coppia di pieno carico molto alta o un tempo d'accelerazione molto breve, si ottiene quasi l'avviamento diretto. Nella prassi, si stabilisce prima il tempo d'accelerazione (nelle pompe circa 10 sec.) e poi si fissa la percentuale della coppia di pieno carico in modo che venga raggiunto l'avvio morbido desiderato.

Il tempo d'accelerazione per il raggiungimento della velocità di regime non è l'effettivo tempo della macchina, che dipende dal carico e dalla percentuale della coppia di pieno carico.

Durante l'avviamento statico con controllo della rampa di tensione, un certo livello della corrente d'avviamento, s'incrementa fino ad un valore massimo e diminuisce ad I_N al raggiungimento della velocità di regime del motore. La corrente massima non può essere stabilita in anticipo, si regolerà in base al motore. Se, comunque, una certa corrente non può essere superata, l'avviamento può essere effettuato con limitazione di corrente.

2.3.2 Avviamento con limitazione di corrente

Curve della corrente durante l'accelerazione

La corrente sale linearmente con una determinata rampa fino al raggiungimento del massimo prestabilito e diminuisce ad I_N al raggiungimento della velocità nominale del motore. Con questo metodo il motore può prelevare solo una certa corrente di avviamento. Il seguente metodo d'avviamento è spesso richiesto dalle società fornitrici di energia elettrica nel caso in cui si debba collegare sulla linea d'alimentazione un motore di grosse dimensioni (grosse ventilazioni, pompe).

2.3.3 Coppie

Curve della coppia

In questo grafico sono rappresentate le diverse coppie del motore con l'avviamento diretto, l'avviamento statico con controllo della rampa di tensione e con limitazione di corrente.

2.4 Tipi di avviatori statici

Le differenze tra i vari tipi di avviatori statici consistono, prevalentemente, nella struttura dei componenti di potenza e delle caratteristiche del modulo di controllo.

Come già è stato detto, l'avviatore statico si basa sul principio del ritardo di fase. Attraverso dei tiristori è possibile ritardare la semionda sinusoidale e trasmettere al motore solo una parte della tensione nominale.

Il tiristore permette il flusso di corrente solo in una direzione. Per questo motivo è necessario un secondo semiconduttore polarizzato posto nella direzione contraria, che conduce la corrente negativa (semiconduttori collegati in modo antiparallelo).

Gli avviatori statici si distinguono in gruppi a secondo dei seguenti criteri:

1. Il numero delle fasi controllate.

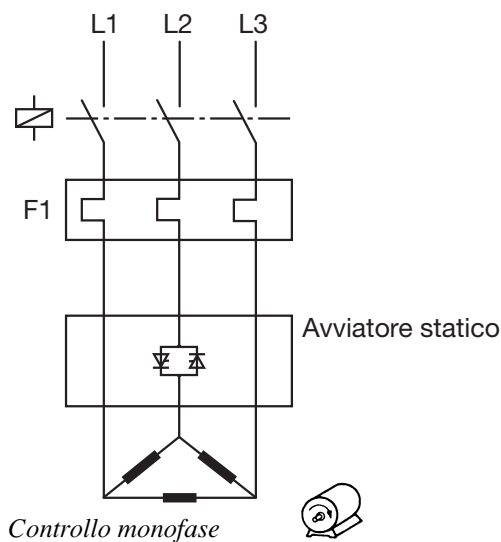
Monofase (avviatori statici con controllo di una fase), bifase (avviatori statici con controllo di due fasi) oppure trifase (avviatori statici con controllo di tre fasi).

2. Il tipo del secondo semiconduttore con polarità opposta.

Se si seleziona un diodo, questo è chiamato avviatore statico con controllo di una semionda.
Se si sceglie un tiristore, questo è chiamato avviatore statico con controllo ad onda piena.

I seguenti schemi elettrici dimostrano il principio come i diversi tipi agiscono sulla tensione e sulla corrente del motore.

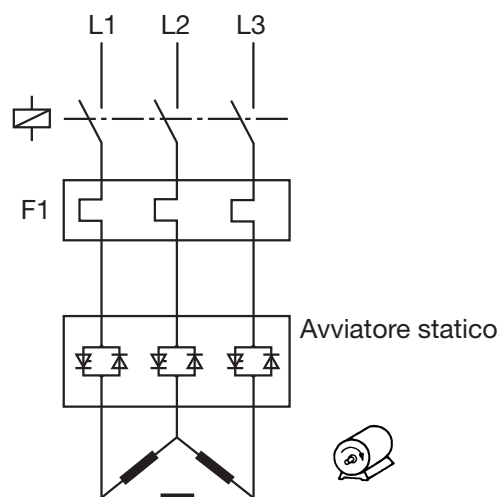
2.4.1 Avviatore statico monofase con controllo ad onda piena

Controllo monofase

Nel caso dell'avviatore statico con controllo monofase, il ritardo di fase (fase L2) è effettuato in una fase per mezzo di due tiristori antiparalleli. Le fasi L1 e L3 sono collegate direttamente al motore.

Durante l'avviamento, approssimativamente circola nelle fase L1 e L3 la corrente nominale del motore pari a circa 6 volte. Solo nella fase regolata è possibile ridurre la corrente fino a 3 volte la corrente nominale.

Se si confronta questo metodo con un avviamento diretto, il tempo per il raggiungimento della velocità di regime sarà più lungo, e la corrente efficace del motore non sarà diminuita in modo rilevante. Di conseguenza nel motore circola approssimativamente la stessa corrente come se fosse un avviamento diretto. In questo modo, il motore si riscalda di più. Poiché il ritardo è solo di una fase, la rete viene caricata asimmetricamente durante la fase d'avviamento. Questo metodo corrisponde al classico collegamento KUSA.

Gli avviatori statici con controllo ad una o due fasi sono per lo più impiegati per motori con potenza fino ad un massimo di 5,5 kW. Sono adatti solo per evitare urti meccanici in un sistema. La corrente di avviamento del motore ad induzione con questo metodo non viene ridotta.

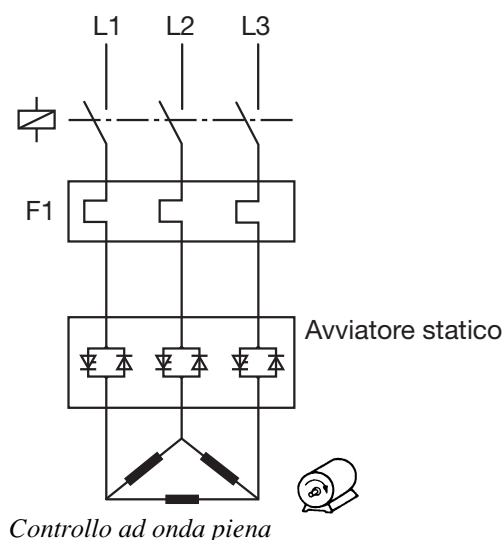
2.4.2 Démarreur progressif commandé par demi-alternance sur trois phases

Controllo a semionda

Nell'avviatore statico con controllo trifase a semionda sinusoidale, il ritardo di fase è realizzato su tutte e tre le fasi. Un tiristore con diodo in antiparallelo viene utilizzato come semiconduttore di potenza. In questo modo il ritardo di fase è utilizzato solo in una semionda (controllo a semionda). In questo modo la tensione è ridotta solo durante la semionda quando il tiristore conduce. Nella seconda semionda, quando il diodo conduce, la tensione nominale di rete è applicata al motore.

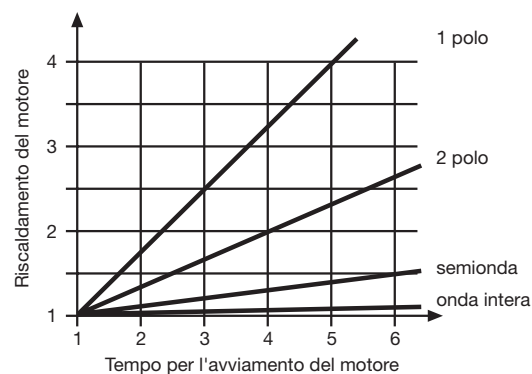
Nella semionda non controllata (diodo), i picchi di corrente sono maggiori rispetto a quella controllata. Le armoniche ad essa collegate provocano nel motore un riscaldamento supplementare.

Poiché i picchi di corrente nelle semionde non controllate (diodo) e le armoniche superiori ad esse collegate diventano critiche nelle grandi prestazioni, si possono utilizzare avviatori statici controllati a semionda solo per applicazioni fino a circa 45 kW.

2.4.3 Avviatore statico trifase con controllo ad onda piena

Controllo ad onda piena

Per questo tipo di avviatore statico, il ritardo di fase è realizzato su tutte e tre le fasi. Due tiristori in antiparallelo sono utilizzati come semiconduttori di potenza. In questo modo la tensione di fase viene ritardata (controllo ad onda intera) in entrambe le semionde. A causa delle armoniche superiori presenti durante il ritardo di fase, il motore è tuttavia messo sotto un carico termicamente alto come durante l'avviamento diretto.

Gli avviatori statici con controllo ad onda piena sono utilizzati per applicazioni fino a circa 630 kW.

2.5 Carico termico durante l'avviamento

Riscaldamento del motore

In questo grafico è rappresentata l'influenza del riscaldamento del motore con i diversi tipi di avviatori statici rispetto all'avviamento diretto.

Il punto 1/1 segna il riscaldamento del motore dopo l'avviamento diretto. L'asse delle ascisse rappresenta il fattore di moltiplicazione del tempo d'avviamento e l'asse delle ordinate il fattore di moltiplicazione del riscaldamento del motore. Se, per esempio, il tempo d'avviamento è raddoppiato rispetto all'avviamento diretto, ciò significa che:

- per l'avviatore statico con controllo monofase, il riscaldamento del motore aumenta di 1,75 volte;
- per l'avviatore statico con controllo bifase, l'aumento è di 1,3 volte;
- per l'avviatore statico con controllo a semionda, l'aumento è di 1,1 volte;
- per l'avviatore statico con controllo ad onda piena, in pratica non è possibile stabilire un riscaldamento supplementare.

Per tempi d'accelerazioni lunghi e potenze elevate, deve essere utilizzato un avviatore statico con controllo ad onda piena.

2.6 Vantaggi degli avviatori statici

- Grazie all'avviamento lento, l'avviatore statico protegge il motore e la macchina.
- La corrente d'avviamento è ridotta o può essere limitata.
- La coppia si adatta al carico corrispondente.
- Per le pompe, è possibile evitare il colpo di ariete durante l'avviamento e l'arresto.
- Sono evitati urti e shock, che possono impedire un processo.
- Viene ridotta l'usura delle cinghie, delle catene, dei meccanismi e dei cuscinetti.
- Grazie alle diverse possibilità di regolazione, è possibile un'automazione semplificata.

2.7 Vantaggi per l'utilizzatore

2.7.1 Parte meccanica

Durante l'avviamento diretto, il motore sviluppa un'altissima coppia d'avviamento. La coppia d'avviamento di solito è dal 150 al 300% della coppia nominale. A seconda del tipo d'avviamento, la meccanica della macchina può essere sollecitata in modo eccessivo dall'elevata coppia d'avviamento («stress meccanico»), oppure il processo di produzione può essere disturbato inutilmente da scatti impulsivi di coppia.

- Con l'installazione di un avviatore statico, l'impatto della coppia che si produce sulla parte meccanica della macchina può essere prevenuto.
- La caratteristica d'avviamento può essere adattata all'applicazione (per es. controllo delle pompe).
- Semplice cablaggio al motore (solo 3 conduttori).

2.7.2 Parte elettrica

L'avviamento dei motori trifasi causa elevati picchi di corrente sulla rete d'alimentazione (6 – 7 volte la corrente nominale). Di conseguenza, si possono verificare notevoli cadute di tensione, che disturbano le altre utenze collegate sulla stessa rete d'alimentazione. Le società elettriche stabiliscono, per questo motivo, valori limite per le correnti d'avviamento dei motori.

- Con un avviatore statico è possibile limitare la corrente di spunto del motore fino a quando non è richiesta coppia d'avviamento elevata.
- In questo modo si riducono le sollecitazioni sulla rete d'alimentazione.
- Possibile riduzione della tariffa di allacciamento sulla rete d'alimentazione per una minor potenza installata.
- In molti casi, tuttavia, le società fornitrici di energia elettrica richiedono una limitazione della corrente d'avviamento.   In questo modo si rispetta la conformità alle corrispondenti norme in vigore.

2.8 Possibilità di impiego

Le applicazioni tipiche sono:

- Carri ponti, nastri trasportatori, trasmissioni
- Agitatori, mescolatori, frantoi
- Pompe, compressori, ventilatori
- Meccanismi con trasmissioni, catene, cinghie, giunti

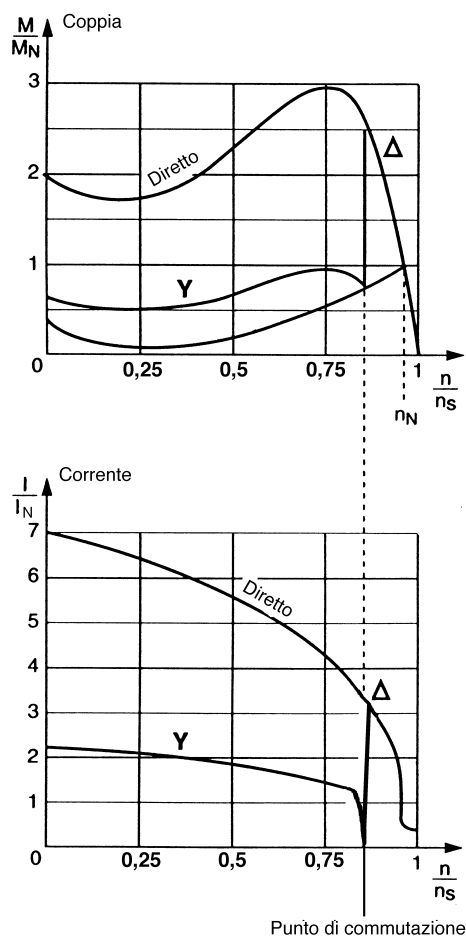
Pompe:
E' possibile eliminare i colpi d'ariete che si verificano all'avviamento e all'arresto di un motore per pompa centrifuga con un controllo particolare.

Compressori:
Per i compressori, con l'avviamento stella-triangolo la velocità può diminuire durante la commutazione dalla stella al triangolo. Un avviatore statico garantisce un avviamento continuo e non può provocare nessuna diminuzione di velocità.

Motori monofase:
Se si vuole avviare un motore monofase con un avviatore statico, è necessario un avviatore statico con controllo monofase ad onda piena.

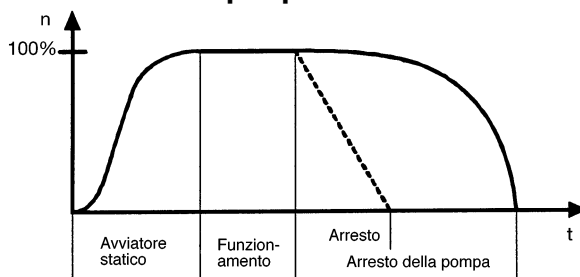
In generale:
Per motivi economici, l'avviatore statico rappresenta la sostituzione naturale dell'avviamento stella-triangolo con maggiori prestazioni. Soprattutto. Per applicazioni con avviamenti pesanti (il carico non può essere aggiunto dopo il raggiungimento della velocità di regime), un avviatore statico potrà addirittura essere preferito ad un avviamento stella-triangolo.

2.9 Avviamento di motori per pompe centrifughe

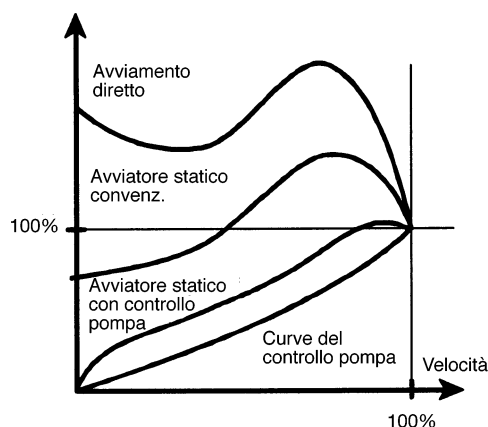
2.9.1 Sviluppo della corrente e della coppia in un avviamento stella-triangolo

Curve della corrente stella-triangolo

Nel grafico sono rappresentate le curve caratteristiche della coppia e della corrente nell'avviamento a stella e a stella-triangolo in funzione della velocità. Per questa applicazione, l'avviamento stella-triangolo è sconveniente, in quanto l'avviatore non è caricato. Durante la commutazione dalla stella al triangolo, la corrente scende a zero e la velocità diminuisce a seconda delle applicazioni. La commutazione a triangolo causa un aumento brusco della corrente. Nel caso in cui la potenza installata non sia sufficiente, questo causa una caduta di tensione sulla rete di distribuzione.

Durante la commutazione a triangolo, anche la coppia motore subisce un incremento, che rappresenta uno sforzo meccanico sull'intera macchina. Se le pompe sono azionate con l'utilizzo dello stella-triangolo, generalmente viene applicato uno sbarramento meccanico.

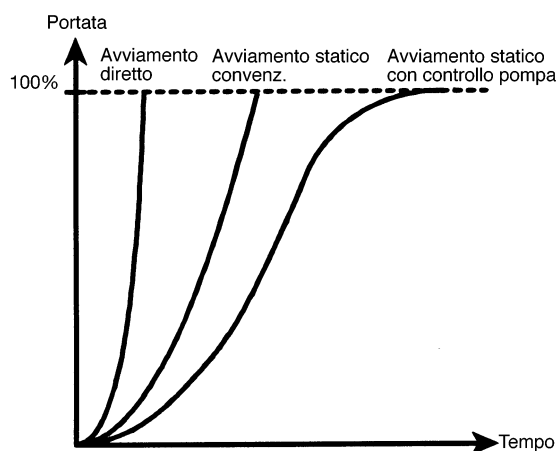
2.9.2 Comportamento della velocità in un avviatore statico con controllo pompa

Comportamento della velocità in un avviatore statico con controllo pompa

Nell'avviatore statico con il modulo per controllo pompa, il motore non accelera linearmente. Il cambiamento della velocità avviene secondo una curva ad S. L'avviamento ottimale della pompa è raggiunto attraverso l'avviamento lento, che raggiunge la velocità nominale con un'accelerazione rapida e ritardata.
L'arresto di una pompa rappresenta una forte sollecitazione per l'avviatore statico. La pompa deve essere ritardata in modo da evitare il colpo d'ariete. L'avviatore statico deve conoscere il carico ed il numero di giri del motore ed adattarsi in modo corrispondente ai suoi parametri in modo che sia raggiunto lo scopo desiderato.

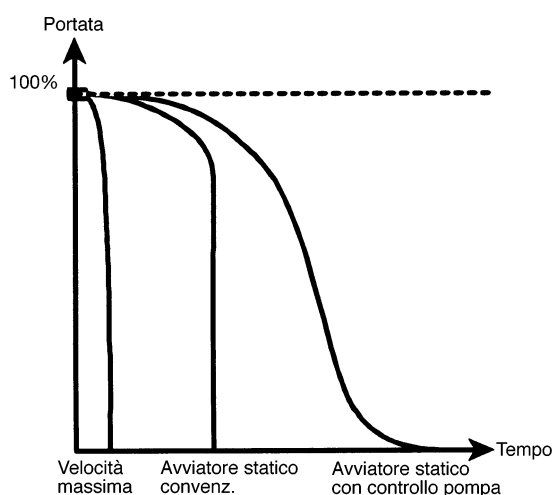
2.9.3 Confronto delle curve caratteristiche della coppia

Curve della coppia

In questo grafico sono rappresentate le curve caratteristiche della coppia con i diversi sistemi d'avviamento. La curva nell'avviatore statico con controllo pompa è parallela alla curva caratteristica della pompa, in modo da raggiungere una coppia d'accelerazione costante.

2.9.4 Caratteristica della portata durante l’avviamento

Portata
100%
Avviamento diretto
Avviamento statico convenz.
Avviamento statico con controllo pompa
Tempo

Curva della portata durante l’avviamento

Questo grafico rappresenta la curva della portata durante l’avviamento per differenti procedure d’avviamento.
Durante l’avviamento diretto, la portata del liquido per effetto della pressione, accelera molto rapidamente. Se si raggiunge il 100% della portata del liquido, subentra un notevole cambiamento dell’accelerazione. In questo modo si provoca il così detto colpo d’ariete che può causare rilevanti danni all’impianto. In un avviatore statico convenzionale, il cambiamento d’accelerazione è sostanzialmente minore e, quindi, anche le conseguenze che ne derivano.
Solo nell’avviatore statico con controllo per pompa il cambiamento d’accelerazione è talmente basso da evitare qualsiasi colpo d’ariete.

2.9.5 Curva della portata durante l’arresto

Curva della portata durante l’arresto

Il grafico rappresentata la curva della portata durante l’arresto nei diversi procedimenti d’arresto.

L'arresto immediato di una pompa centrifuga durante la massima velocità del motore vuol dire fare crollare l'intera colonna d'acqua sulla valvola di non ritorno. In questo modo, l'impianto viene caricato maggiormente rispetto all'avviamento diretto.
Il controllo della rampa di decelerazione (Arresto dolce) tradizionale non è adatto per il controllo delle pompe, in quanto la velocità della portata viene ritardato solo fino ad un certo grado e quindi, si verificherebbe lo stesso effetto che avviene durante la «velocità massima».
Un rallentamento ottimale della portata può essere ottenuto solo con un arresto «regolato» con controllo della pompa. È molto importante durante l'avviamento, ma è ancora maggiormente più importante durante l'arresto per eliminare completamente i colpi d'ariete. L'avviatore statico deve ritardare lentamente il flusso all'avviamento, aumentare il ritardo per ridurlo verso la fine, in modo che poi questo venga frenato lentamente fino a zero.

2.9.6 Requisiti di un avviatore statico con controllo pompa

Tutti gli impianti hanno diversi livelli con diverse lunghezze dei conduttori, per cui non è sufficiente associare le curve caratteristiche delle pompe col corrispondente software. L'avviatore statico deve adattarsi alle diverse condizioni delle applicazioni per controllo pompe, solo in questo modo può essere garantito un avviamento ed un arresto ottimale.

2.9.7 Campi di applicazione

Gli avviatori statici con il modulo per il controllo pompa sono attualmente usati in molti settori. Alcuni di questi sono:

- Approvvigionamento idrico
- Impianti di depurazione
- Fabbricazione della birra / Caseifici
- Sistemi di riscaldamento centralizzato
- Piscine
- Produzione di bibite e di alimenti
- Impianti chimici e petrolchimici
- Industria estrattiva
- Impianti di rifornimento
- Produzione della carta
- Lavorazione del legno
- Tecnica HLK

2.10 Opzioni

Sono disponibili diverse opzioni per gli avviatori statici:

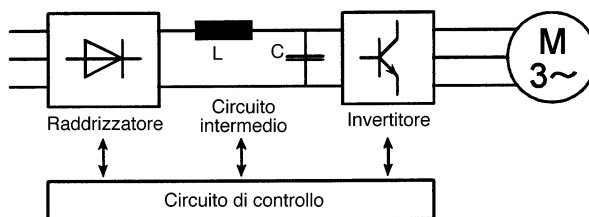
- Arresto dolce
- Regolazione con controllo pompa
- Bassa velocità preselezionata
- Frenatura intelligente del motore
- Accu Stop
- Bassa velocità preselezionata con frenatura

queste opzioni sono descritte più dettagliatamente nel catalogo dei prodotti Allen-Bradley.

3 Convertitori di frequenza

3.1 Considerazioni generali

L'industria ha la necessità di accelerare sempre di più i tempi di produzione e, continuamente, vengono sviluppati metodi migliori per impianti di produzione sempre più efficienti. I motori elettrici sono componenti essenziali di questi impianti. Per questo motivo, sono state sviluppate diverse metodologie per il cambiamento della velocità impostata dei motori trifase ad induzione ai quali sono legati, nella maggior parte dei casi, rilevanti perdite di potenza o notevoli investimenti. Con lo sviluppo del convertitore di frequenza è possibile installare, in maniera efficiente, motori ad induzione a velocità variabile.
Un convertitore di frequenza è un apparecchio elettronico che regola la velocità dei motori ad induzione modificando la frequenza e la tensione con valori variabili. In questo modo, il motore può fornire una coppia elevata a tutte le velocità.

3.2 Struttura

Struttura principale

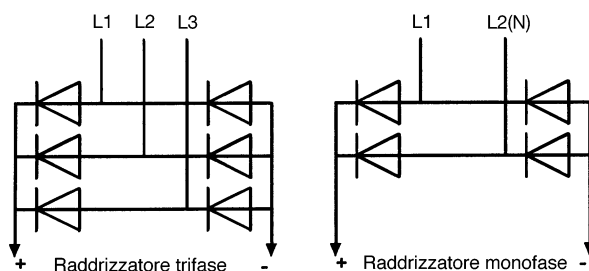
Il convertitore di frequenza può essere suddiviso in tre componenti principali.

Raddrizzatore:
Il raddrizzatore viene collegato alla rete di distribuzione e produce una tensione continua pulsante.

Circuito intermedio:
Il circuito intermedio immagazzina e livella la tensione continua pulsante.

Invertitore:
Con l'utilizzo della tensione continua, l'invertitore riconverte nella rete di distribuzione la tensione con la frequenza desiderata. A questa uscita è collegato il motore.

Circuito di controllo:
L'elettronica nel circuito di controllo può inviare e ricevere segnali dal raddrizzatore, dal circuito intermedio e dall'invertitore. I segnali vengono generati ed analizzati con un microprocessore interno all'apparecchio.

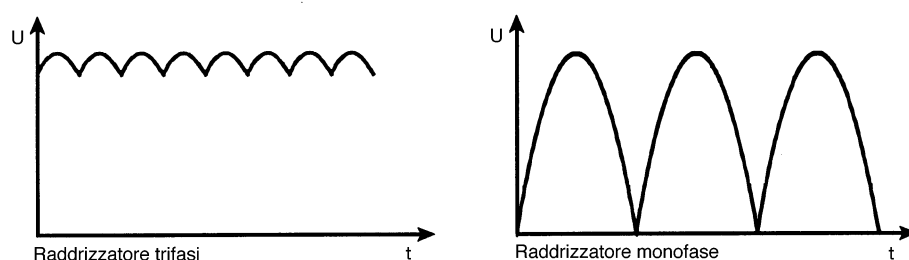
3.2.1 Raddrizzatori principale

Raddrizzatore principale

Il raddrizzatore principale consiste in un collegamento a ponte dei diodi, che raddrizzano la tensione d'alimentazione. La tensione continua risultante corrisponde al valore massimo della tensione d'alimentazione alla quale è collegata (U_e x $\sqrt{2}$).

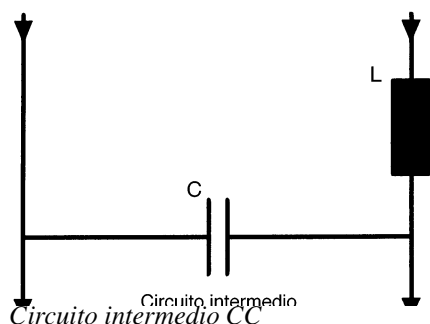
La differenza fondamentale tra un collegamento con ponte monofase ed uno trifase è la tensione pulsante che si produce. In pratica si preferisce, per motivi di costi, la versione con ponte monofase per basse potenze (fino a circa 2,2 kW). Per potenze superiori, questa versione non è adatta per le seguenti ragioni:

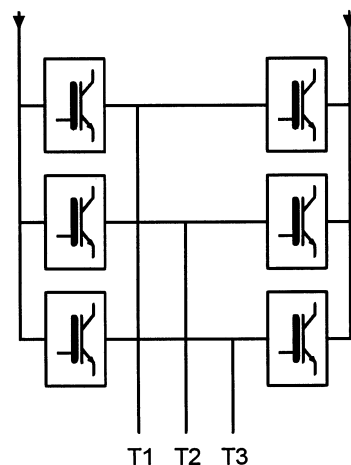
il ponte monofase rappresenta un carico non bilanciato per la linea d'alimentazione. La forma d'onda della tensione continua è maggiore rispetto al modello trifase. Per questo motivo, anche la capacità del circuito intermedio deve essere sopra dimensionata.

Il raddrizzatore del convertitore di frequenza è composto da diodi o tiristori. Un raddrizzatore composto da diodi non è regolabile, uno composto da tiristori è regolabile. Il ponte a diodi è impiegato per potenze di motori fino a circa 22 kW.

3.2.1.1 Diagramma delle forme d'onda della tensione continua

Raddrizzatori principali

3.2.2 Circuito intermedio

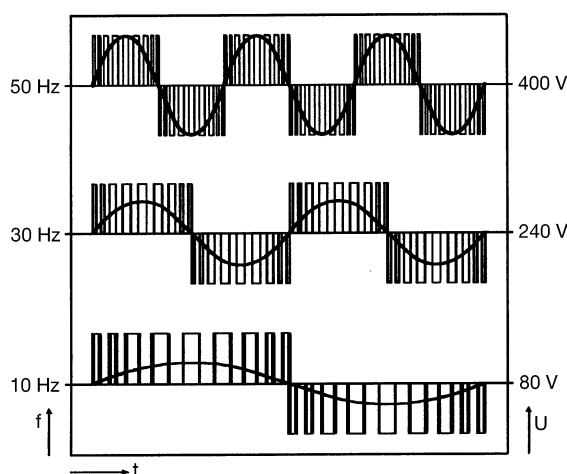
Circuito intermedio CC

Il circuito intermedio può essere considerato come un deposito, dal quale il motore riceve, attraverso l'invertitore, la propria energia. Il condensatore del circuito intermedio C accumula l'energia proveniente dalla linea d'alimentazione, che richiede un'alta capacità. Il motore collegato al convertitore di frequenza preleva l'energia dal circuito intermedio, in questo modo il condensatore viene in parte scaricato. Il caricamento del condensatore può avvenire solo quando la tensione d'alimentazione è più alta della tensione del circuito intermedio. In questo modo l'energia è fornita dalla rete quando la tensione principale è vicina al suo massimo. Questo provoca dei picchi di corrente che si sommano quando alcuni cambi di frequenza vengono commutati in parallelo. A questo scopo viene installato, per le potenze maggiori (a partire da circa 5,5 kW), un induttore nel circuito intermedio. Questo induttore ha il compito di ritardare la durata del flusso di corrente sulla rete e di ridurre, in questo modo, i picchi di corrente.

3.2.3 Invertitori

Invertitore IGBT

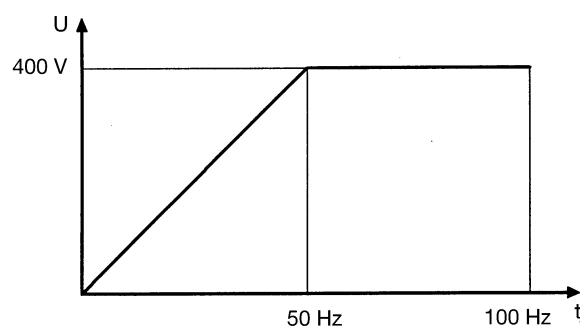
L'invertitore è l'ultimo anello del cambiamento di frequenza, davanti al motore. (Per sistemi con plurimotori è necessaria una protezione supplementare prima di ogni motore). Esso trasforma la corrente continua in una rete ad induzione con frequenza e tensione variabili. I diversi semiconduttori sono utilizzati come semiconduttori di

potenza: GTO (tiristore Gate Turn Off), FET (field effect transistor), IGBT (Insulate Gate Bipolar Transistor). I moderni convertitori di frequenza sono, nella maggior parte dei casi, dotati di IGBT. Le nuove generazioni di questi semiconduttori raggiungono una potenza di circa 350 kW.

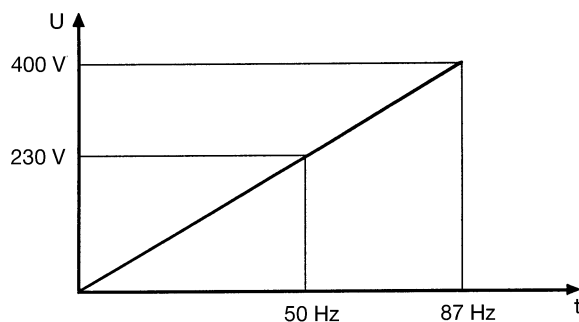
Come si trasforma, dunque, una tensione continua in una tensione trifase con frequenza variabile? Gli elementi strutturali dell'invertitore funzionano come interruttori (regolati da un microprocessore) e collegano, a secondo della frequenza, la tensione negativa e positiva all'avvolgimento del motore. Le modifiche di frequenza e tensione avvengono, nella maggior parte dei convertitori di frequenza, con la modulazione dell'ampiezza d'onda PWM.

3.2.3.1 Diagramma della modulazione dell'ampiezza d'onda

Modulazione dell'ampiezza d'onda

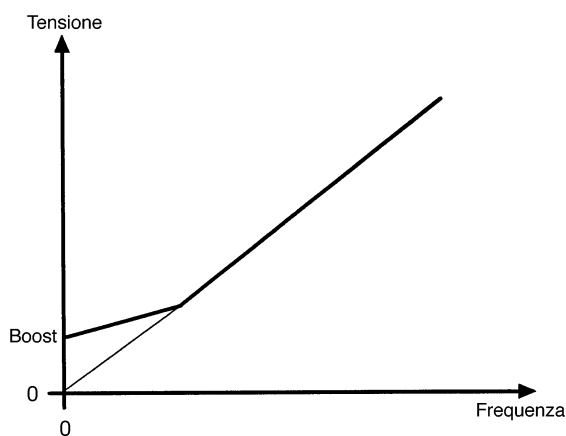
3.3 Comportamento operativo

3.3.1 Rapporto frequenza-tensione

Curva U-f

Nel collegamento diretto del motore alla linea d'alimentazione, sussistono condizioni applicativi ideali per il motore. Il convertitore di frequenza garantisce, attraverso la modifica della tensione, livelli vicini a queste condizioni applicative.

Come standard vale una caratteristica U-f lineare da 0 a 50 Hz a 400 V. Se si raggiunge una frequenza superiore a 50 Hz, la tensione non aumenta ulteriormente (tensione principale). Il motore, allora, non può più fornire la potenza nominale e quindi non può più essere sottoposto al pieno carico.

Curva U-f

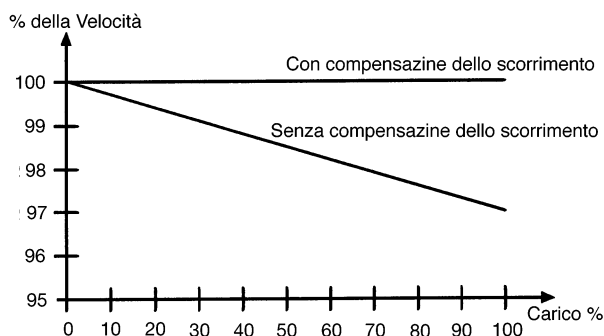
La caratteristica del motore può essere incrementata per essere trasformata dalla limitazione di frequenza (di solito 50 Hz). Un rapporto standard è di:
230 V - 50 Hz e 380 V - 87 Hz. Ciò significa che il motore può essere azionato fino ad 87 Hz con carico nominale.

3.3.2 Aumento di tensione oppure un boost

Aumento di tensione

Il rapporto lineare U-f funziona male a bassa frequenza (< 5 Hz). Il motore non sviluppa più nessuna coppia e si ferma a bassa velocità. Per evitare questo inconveniente, deve essere impostato, in caso di bassa velocità, un aumento di tensione oppure un «boost». A questo scopo sono a disposizione dell'utente numerose possibilità, a seconda del tipo di convertitore di frequenza:

Auto-Boost:
L'aumento di tensione viene determinato dal software del convertitore di frequenza. Questo boost copre la maggior parte delle applicazioni.

Boost CC:
La curva U-f è ricoperta da una tensione fissa. Con questo sistema può essere generata la massima coppia del motore. Tuttavia, bisogna fare attenzione, perché la corrente del motore aumenta molto rapidamente durante questa procedura.

3.3.3 Compensazione dello scorrimento

Compensazione dello scorrimento

Se un motore trifase ad induzione viene caricato, la sua velocità diminuisce e lo scorrimento aumenta. Se non si desidera questa diminuzione della velocità, il convertitore di frequenza offre una cosiddetta compensazione dello scorrimento. Ciò significa che il convertitore di frequenza aumenta automaticamente la frequenza iniziale e in questo modo la velocità non diminuisce. Questa compensazione permette una precisione di velocità di circa lo 0,5 %.

3.3.4 Valore impostato

Il livello del valore impostato determina la frequenza iniziale e in questo modo anche la velocità del motore. Il valore impostato può essere in diversi modi fornito dal convertitore di frequenza:

- con un potenziometro (di solito 10 kOhm)
- con un segnale analogico (0...10 V o 4...20 mA)
- attraverso un'interfaccia seriale
- attraverso un bus del campo

È anche possibile programmare, nel convertitore di frequenza, diverse frequenze fisse e attivarle all'ingresso, secondo le necessità.

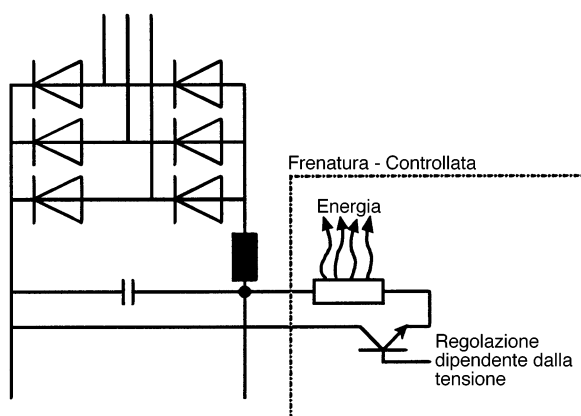
3.3.5 Compensazione

Come in precedenza, nel circuito del motore circolano una corrente reattiva e una attiva. La corrente reattiva, tuttavia, oscilla tra la capacità del circuito intermedio e l'induttanza del motore e dunque non carica la rete. Solo la potenza attiva, le perdite della trasmissione e le perdite del convertitore di frequenza sono pareggiate dalla rete. Il cos j della corrente di rete è, di conseguenza, quasi 1. Nella maggior parte dei casi, può essere omessa una compensazione della trasmissione.

3.3.6 Protezione del motore

I convertitori di frequenza sono normalmente equipaggiati con una protezione elettronica del motore integrata. Non è necessario normalmente una protezione supplementare. Per applicazioni speciali, per es. quando un convertitore di frequenza alimenta più motori, si consiglia una protezione addizionale per ogni motore. Bisogna, tuttavia, prestare attenzione al fatto che il motore può essere messo in funzione anche con una velocità inferiore. Poiché nei motori standard il ventilatore viene montato sull'albero, non viene più garantito un raffreddamento ottimale del motore. In questo caso, dovrebbe essere installato un ventilatore separato. Per assicurare la protezione anche a basse velocità, devono essere installate sonde termiche negli avvolgimenti del motore, ad esempio termistori (PTC).

3.3.7 Inversione della rotazione e frenatura

Poiché il campo rotante nel convertitore di frequenza è generato elettronicamente, è sufficiente un impulso di comando per cambiare il senso di rotazione.
Se la frequenza si riduce durante il funzionamento del motore, il rotore ruota più velocemente del campo rotante. Il motore opera nel cosiddetto funzionamento ipersincrono e agisce da generatore. L'energia viene, dunque, ricondotta nel convertitore di frequenza, dove viene di nuovo accumulata nel circuito intermedio. Solo un aumento limitato di energia può essere deviata, quindi l'energia superflua porta ad un aumento di tensione. Se la tensione supera un determinato valore, il convertitore di frequenza si disinserisce. Per evitare ciò, è necessario dissipare l'energia e questo può avvenire in vari modi.

Frenatura - Controllata

Frenatura - Controllata:
l'energia viene annullata su una resistenza attraverso un congegno elettronico.

Riscontro:
l'energia viene ricondotta alla rete attraverso un invertitore separato.

Bus a corrente continua:
i circuiti intermedi di diversi convertitori di frequenza vengono collegati l'uno all'altro. In questo modo, l'energia di frenatura di altri motori viene utilizzata per il funzionamento.

3.4 Vantaggi dei convertitori di frequenza

Risparmio energetico:
si risparmia energia se il motore funziona con un numero di giri corrispondente alla richiesta del momento. Ciò vale specialmente per pompe e ventilatori. Assorbimenti di corrente minori anche con velocità minori e coppie elevate.

Ottimizzazione del processo:
l'adattamento della velocità al processo produttivo crea numerosi vantaggi quali una produzione efficiente e uno sfruttamento ottimale degli impianti. La velocità può essere adattata in funzione delle esigenze richieste.

Minor danneggiamento del motore durante il funzionamento:
diminuisce il numero degli avviamenti e degli arresti. In questo modo, si evita un eccessivo ed inutile stress sui componenti della macchina.

E' richiesta una minore manutenzione:
il convertitore di frequenza non richiede manutenzione.

Ambiente di lavoro migliore:
la velocità di un nastro trasportatore può essere adattata alla velocità di lavoro. Con avviamenti e arresti lenti si evita la caduta del prodotto trasportato dal nastro.

3.5 Interferenze da radiofrequenza

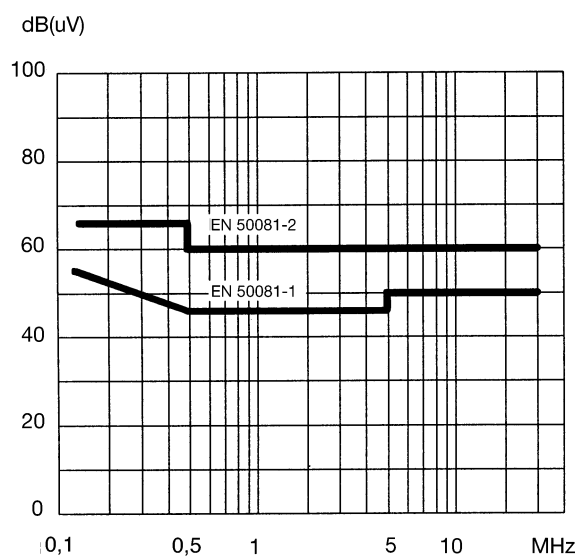
3.5.1 Considerazioni generali

Ogni corrente e ogni tensione con forma d'onda non sinusoidale contiene armoniche superiori. La frequenza di queste armoniche dipende dall'inclinazione della curva della corrente o della tensione.

Se, per esempio, si stabilisce un contatto, la corrente aumenta improvvisamente (molto rapidamente) da zero alla corrente nominale. Ciò è percepibile, eventualmente, in una radio sotto forma di colpo acustico. Un singolo impulso sonoro non viene percepito come disturbo. Poiché i semiconduttori di potenza di un convertitore di frequenza funzionano come «contatti», questi apparecchi trasmettono tensioni di interferenza in radiofrequenza. A causa della frequenza relativamente elevata delle interruzioni (da 2 a circa 8 kHz), vengono influenzati altri apparecchi elettronici.

I disturbi radio (RFI: Radio Frequency Interferences) sono definiti come oscillazioni con frequenze tra 150 kHz e 30 MHz. Si diffondono attraverso i conduttori o per radiazione. L'entità dei disturbi dipende da diversi fattori:

- Dalle condizioni dell'impedenza nella rete di distribuzione
- Dalla frequenza delle interruzioni dell'invertitore
- Dalla frequenza della tensione d'uscita
- Dalla struttura meccanica del convertitore di frequenza

3.5.2 Norme

Norma RFI

In diversi Paesi esistono norme che stabiliscono la quantità di disturbi radio che un apparecchio può emettere. Se si esaminano le diverse norme, si vedrà che la maggior parte di esse ha lo stesso contenuto. Fondamentalmente vengono fissati sempre due livelli: la caratteristica per le prestazioni industriali (EN 50081-2) e quella per gli scopi commerciali (EN 50081-1).

3.5.3 Provvedimenti

In linea di massima, le interferenze radio vengono emesse per radiazione o attraverso i conduttori. I provvedimenti hanno effetto solo se sono state rispettate le norme d'installazione. Per i collegamenti a terra di grosse superfici bisogna prestare molta attenzione. I convertitori di frequenza e i filtri vanno fissati alla stessa piastra conduttrice.

Radiazione:
Se il convertitore di frequenza viene installato in un involucro metallico collegato a terra, non dovrebbero sussistere problemi di radiazione.

Linee d'alimentazione del convertitore di frequenza:
Se vengono installati filtri RFI devono essere rispettate le norme più rigide. Un induttore del circuito intermedio incorporato può essere già sufficiente e si può rinunciare al filtro.

Cavi del motore:
Nel cavo del motore vengono limitate le interferenze radio anche con filtri RFI.
I filtri diventano, però, relativamente grandi e hanno forti dissipazioni. Di solito, quindi, si limitano i disturbi radio nel cavo del motore con uno schermaggio.

4 Confronto tra i vari metodi d'avviamento

Confronto tra i vari metodi d'avviamento dei motori standardizzati a gabbia di scoiattolo (valori tipici)

Motore, Macchina

	Diretto	Stella-triangolo			Trasformatore	Statorico		Motori speciali	Avviamento con apparecchiature di comando elettroniche	
Tipo d'avviamento	**Avviamento diretto**	**Normale**	**Commutazione senza interruzione**	**Rafforzato**	**Avviamento con autotrasformatore**	**Avviamento tramite induttanze**	**Avviamento tramite resistenze**	**Avviamento motori a doppia polarità**	**Avviamento con avviatori di potenza**	**Avviamento con convertitori di frequenza**
Potenza installata	Alta	Debole	Debole	Media	Tra debole e media	Media	Media	Tra media e alta	Tra debole e media	Debole
Carico all'avviamento	Massimo	Minimo	Minimo	Medio	Da debole a medio	Da debole a medio	Debole	Da medio a massimo	Da debole a medio	Da debole a medio
Corrente d'avviamento relativa I/I_e	$I_A=I_{AD}$=4...8xI_e Determinata dal motore	I_A=0,33xI_{AD} (1,3…2,7xI_e)	I_A=0,33xI_{AD} (1,3…2,7xI_e)	I_A=~0,5xI_{AD} (2…4xI_e)	$I_A=k^2$xI_{AD} (Dipendente dalle uscite dell'autotr.: 80%; 65%; 50%)	typ. 0,5xI_{AD} (2…4xI_e)	typ. 0,5xI_{AD} (2…4xI_e)	I_A=0,5...1xI_{AD} Dipende dal motore e dal collegamento	I_A=kxI_{AD} (typ. 2...6xI_e) (Fattore di riduzione della tensione)	I_A<=1(...2)xI_e
Coppia di avviamento relativa M/M_e	M_{AD}=1,5...3xM_e Determinata dal motore	M_A=0,33xM_{AD} (0,5…1,0xM_e)	M_A=0,33xM_{AD} (0,5–1,0xM_e)	M_A=~0,5xM_{AD} (0,7…1,5xM_e)	$M_A=k^2$xM_{AD} (Dipendente dalle uscite dell'autotr.: 80%; 65%; 50%)	typ. 0,25xM_{AD} (0,4…0,8xM_e)	typ. 0,25xM_{AD} (0,4…0,8xM_e)	M_A=0,5...1xM_{AD} Dipende dal motore e dal collegamento	$M_A=k^2$xM_{AD} (Fattore di riduzione della tensione)	Avviamento regolato dalla frequenza. La coppia può essere adattata alla richiesta di carico senza nessuna limitazione
Avviamento normale Tempo d'accelerazione	0,2...5 s	2...15 s	2...15 s	2...10 s	2...20 s	2...20 s	2...20 s	0,2...10 s	0,5...10 s	0,5...10 s
Tempo d'accelerazione Velocità di regime a pieno carico 1)	5...30 s	15...60 s	15...60 s	10...40 s	20...60 s	Insolito per carico pesante		5...30 s	10...60 s	5...60 s
Funzioni caratteristiche	Alta corrente allo spunto durante l'avviamento	Avviamento con coppia e corrente ridotte; riduzione della corrente di spunto	Avviamento Y-D normale; riduzione della corrente durante commutazione	Avviamento Y-D normale, maggiore corrente e coppia all'avviamento	Simile allo Y-D, senza interruzione di commutazione e uscita dell'autotr. selezionabile	La tensione del motore (e la coppia relativa) aumenta con il numero di giri	La tensione e la coppia aumentano con il numero di giri in misura inferiore rispetto alle induttanze	La corrente e la coppia d'avviamento dipendono dal motore e dal collegamento Corrente come per es. per lo Y-D	Caratteristica di avviamento regolabile. Anche con la possibilità di controllare la velocità massima. Coppia relativamente piccola	Alta coppia disponibile con bassa corrente. Caratteristica di avviamento regolabile.
Campo di applicazione	Macchine con grossi carichi, che richiedono un'alta coppia d'avviamento démarrage élevé	Macchine che vengono caricate solo dopo il raggiungimento della velocità di regime	Normale come Y-D, ma per macchine con minore massa d'inerzia e maggiore coppia resistente fort couple résistant	Macchine con richiesta di una maggiore coppia in fase d'avviamento	Prevalentemente usato nei paesi di lingua inglese. Sistema come l'avviamento Y-D	Macchine con coppia resistente che aumenta con la velocità	Economicamente conveniente; per avviamenti senza carico. Con resistenza più dispendioso, ma più flessibile.	Per lo più per esigenza operativa sulla velocità	Avviamenti che richiedono una curva della coppia morbida o regolabile (o la riduzione della corrente)	Per lo più per regolare il numero di giri in funzionamento. Per potenze ridotte anche al posto degli avviatori di potenza.

I_A....Corrente d'avviamento del motore
I_{AD}....Corrente d'avviamento del motore per l'avviamento diretto
M_{AD}....Coppia d'avviamento del motore per l'avviamento diretto
I_e...Corrente di funzionamento nominale del motore
M_e...Coppia di funzionamento nominale del motore
1) Dimensionamento possibile con una scala dei tempi in minuti

Rockwell Automation aiuta i propri clienti ad ottenere i massimi risultati dai loro investimenti tramite l'integrazione di marchi prestigiosi nel settore dell'automazione industriale, creando una vasta gamma di prodotti di facile integrazione. Tali prodotti sono supportati da una rete di assistenza tecnica locale disponibile in ogni parte del mondo, da una rete globale di integratori di sistemi e dalle risorse tecnologicamente avanzate della Rockwell.

Arabia Saudita • Argentina • Australia • Austria • Bahrain • Belgio • Bolivia • Brasile • Bulgaria • Canada • Cile • Cipro • Colombia • Corea • Costarica • Croazia • Danimarca Ecuador • Egitto • El Salvador • Emirati Arabi Uniti • Filippine • Finlandia • Francia • Gana • Giamaica • Giappone • Giordania • Germania • Grecia • Guatemala • Honduras Hong Kong • Irlanda • Islanda • Israele • Italia • Kuwait • Libano • Macao • Malaysia • Malta • Marocco • Messico • Nigeria • Norvegia • Nuova Zelanda • Oman • Paesi Bassi • Pakistan • Panama • Perù • Polonia • Portogallo • Portorico • Qatar • Regno Unito • Repubblica Ceca • Repubblica del Sud Africa • Repubblica Dominicana Repubblica Popolare Cinese • Romania • Russia • Singapore • Slovacchia • Slovenia • Spagna • Stati Uniti • Svezia • Svizzera • Taiwan • Tailandia • Trinidad • Tunisia Turchia • Ungheria • Uruguay • Venezuela

Rockwell Automation, Sede Centrale, 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204 USA, Tel: (1) 414 382-2000, Fax: (1) 414 382-4444
Rockwell Automation, Sede Europea, Avenue Herrmann Debrouxlaan, 46, 1160 Bruxelles, Belgio, Tel: (32) 2 663 06 00, Fax: (32) 2 663 06 40
Rockwell Automation, Sede Asia-Pacifico, 27/F Citicorp Centre, 18 Whitfield Road, Causeway Bay, Hong Kong, Tel: (852) 2887 4788, Fax: (852) 2508 1846

SEDI ITALIANE: Rockwell Automation S.r.l., Viale De Gasperi 126, 20017 Mazzo di Rho MI, Tel: (+39-2) 939 72.1, Fax: (+39-2) 939 72.201
Rockwell Automation S.r.l., Divisione Componenti, Via Cardinale Riboldi 161, 20037, Paderno Dugnano MI, Tel: (+39-2) 990 60.1, Fax: (+39-2) 990 43.939
Reliance Electric S.p.A., Via Volturno 46, 20124 Milano, Tel: (+39-2) 698 141, Fax: (+39-2) 668 01 714

FILIALI ITALINE: Rockwell Automation S.r.l., Milano, Torino, Savona, Padova, Brescia, Bologna, Roma, Napoli

Pubblicazione WP-Start IT, Gennaio 98